

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/006505

International filing date: 01 April 2005 (01.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-274979  
Filing date: 22 September 2004 (22.09.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 20 May 2005 (20.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2004年 9月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2004-274979

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号

The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

J P 2004-274979

出 願 人

Applicant(s):

三菱電機株式会社

2005年 4月27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】	特許願
【整理番号】	551232JP01
【提出日】	平成16年 9月22日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	H02P 21/00
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
【氏名】	北中 英俊
【特許出願人】	
【識別番号】	000006013
【氏名又は名称】	三菱電機株式会社
【代理人】	
【識別番号】	100057874
【弁理士】	
【氏名又は名称】	曾我 道照
【選任した代理人】	
【識別番号】	100110423
【弁理士】	
【氏名又は名称】	曾我 道治
【選任した代理人】	
【識別番号】	100084010
【弁理士】	
【氏名又は名称】	古川 秀利
【選任した代理人】	
【識別番号】	100094695
【弁理士】	
【氏名又は名称】	鈴木 憲七
【選任した代理人】	
【識別番号】	100111648
【弁理士】	
【氏名又は名称】	梶並 順
【電話番号】	03-3216-5811
【連絡先】	担当
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	000181
【納付金額】	16,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

誘導電動機の一次電流の実測値を用いて計算したトルク演算値とトルク指令発生部で生成された前記誘導電動機に対するトルク指令値との誤差に基づいて、前記誘導電動機の相互インダクタンスの補正値を求める相互インダクタンス補正部と、

前記相互インダクタンスの補正値を含む前記誘導電動機の回路定数を用いて、前記誘導電動機の発生トルクが前記トルク指令値と一致するように前記誘導電動機を制御するベクトル制御部と

を備えたことを特徴とする誘導電動機のベクトル制御装置。

【請求項 2】

前記ベクトル制御部に設定される前記回路定数は、1次抵抗設定値を含み、

前記ベクトル制御部は、前記回路定数から電圧指令値およびすべり角周波数指令値を求め、

前記相互インダクタンス補正部は、前記電圧指令値と、前記すべり角周波数指令値に前記誘導電動機の電動機回転角周波数の実測値を加えたインバータの出力角周波数と、前記1次抵抗設定値と、前記一次電流の実測値と、前記トルク指令値とを用いて演算した補正値に基づいて、前記相互インダクタンスの初期設定値を補正することにより、前記相互インダクタンスの補正値を生成すること

を特徴とする請求項 1 に記載の誘導電動機のベクトル制御装置。

【請求項 3】

前記回路定数は、2次抵抗設定値を含み、

2次抵抗設定値を補正する2次抵抗補正部を更に備えたことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の誘導電動機のベクトル制御装置。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 誘導電動機のベクトル制御装置

【技術分野】

【0001】

この発明は誘導電動機のベクトル制御装置に関し、特に相互インダクタンスの初期設定値と実際値との誤差を補正するものである。

【背景技術】

【0002】

一般にベクトル制御とは、交流電動機の電流を磁界（磁束）方向および磁界と直交するトルク方向に分離することにより、磁束分電流とトルク分電流を独立して制御することができ、発生トルクを直流電動機と同様に瞬時制御することができるものである（例えば、非特許文献1参照）。

【0003】

従来の誘導電動機のベクトル制御装置では、誘導電動機の回路定数を使用して誘導電動機に印加する電圧振幅、周波数、位相を演算している。この際、誘導電動機のベクトル制御装置に設定された回路定数と、実際の誘導電動機の回路定数の間に誤差が存在すると、ベクトル制御状態が維持できなくなり、システム側からのトルク指令値と実際の誘導電動機の発生トルクが一致しなくなる。また、トルク指令値の過渡変化時には、誘導電動機の発生トルクがオーバーシュートするなど反応が振動的になり、トルク制御性能が悪化する。

【0004】

ここで、誘導電動機の回路定数のうち2次抵抗設定値について、2次回路（回転子）は一般的に銅合金で作成されている。そのため、誘導電動機の運転状態や周囲温度変化に伴う温度変化によって、実際の抵抗値は変化することとなり、誘導電動機のベクトル制御装置に設定された2次抵抗設定値との間に誤差を生じ、トルク制御性能に影響を与える。このため、設定値と実際値との誤差を補正する構成が多く採用されている（例えば、特許文献1参照）。

【0005】

また、誘導電動機定数の一つである相互インダクタンスについては、温度による値の変化は少ないものの、設定値と実際値の誤差は、誘導電動機の定常トルク特性に影響を与える。設定値が実際値より大きい方向に誤差を含む場合、誘導電動機の発生する発生トルクはトルク指令値より小さくなり、設定値が実際値より小さい方向に誤差を含む場合、誘導電動機の発生する発生トルクはトルク指令値より大きくなる。

【0006】

例えば、電鉄車両用のベクトル制御装置では、このようにトルク誤差があると、車両の加速度、減速度が運転者の意図とおりにならないなどの問題が生じる。このようにトルク制御性能に影響を及ぼすものであるので、設定値と実際値は極力一致させておく必要がある。

そこで、誘導電動機を無負荷運転し1次電流から相互インダクタンスを実測できる場合は、実測値を設定値として設定すればよい。

しかしながら、装置組み込み用途で無負荷状態を作れない誘導電動機や車両搭載用等の大型の誘導電動機では実測も容易ではない。このため、このような場合には相互インダクタンスの設定値としては設計計算値が採用されるため、実際の相互インダクタンス値との間に誤差が存在することになる。この誤差分により、トルク出力が、トルク指令値と一致しないで誤差が発生する。

また、相互インダクタンス設定値の補正については、あまり考慮されていない。

【0007】

【非特許文献1】 中野孝良著「交流モータのベクトル制御」日刊工業新聞社、1996年3月29日

【特許文献1】 特開平6-38574号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来の誘導電動機のベクトル制御装置では、相互インダクタンス設定値と実際値との間に誤差が存在する場合、誘導電動機の発生トルクがトルク指令値に一致しないという問題点があった。

【0009】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、特別な装置を付加することなく、ソフトウェア上の処理の追加にて相互インダクタンスの設定値を実際値にあわせるよう補正することができる誘導電動機のベクトル制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この発明に係る誘導電動機のベクトル制御装置は、誘導電動機の一次電流の実測値を用いて計算したトルク演算値とトルク指令発生部で生成された誘導電動機に対するトルク指令値との誤差に基づいて、誘導電動機の相互インダクタンスの補正値を求める相互インダクタンス補正部と、相互インダクタンスの補正値を含む誘導電動機の回路定数を用いて、誘導電動機の発生トルクがトルク指令値と一致するように誘導電動機を制御するベクトル制御部とを備えたものである。

【発明の効果】

【0011】

この誘導電動機のベクトル制御装置によれば、相互インダクタンス補正部の出力結果により、相互インダクタンス初期設定値を補正し、新しい相互インダクタンス設定値を求めることにより、誘導電動機の実際の発生トルクを、トルク指令値に一致させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

実施の形態1.

以下、図面を参照しながら、この発明の実施の形態1に係る誘導電動機のベクトル制御装置について詳細に説明する。

なお、本発明は2次抵抗値の補正と同時に行う必要があるが、2次抵抗値の補正は公知のものとして説明および図示は省略し、ここでは、相互インダクタンスの補正のみについて説明する。

図1はこの発明の実施の形態1に係る誘導電動機のベクトル制御装置を周辺機器構成とともに示すブロック図である。なお、この発明に係る相互インダクタンス補正部は、一般的なベクトル制御系に適用できる。ここでは、一般的なベクトル制御系の例として、電鉄車両用ベクトル制御装置を示す。

図2はこの発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置が制御する、誘導電動機の等価回路（T型、1相分）を示す回路図である。

【0013】

図1および図2において、誘導電動機のベクトル制御装置（以下「ベクトル制御装置」と略称する）1は、誘導電動機15をベクトル制御するベクトル制御部2と、誘導電動機15の回路定数を用いて、誘導電動機15の相互インダクタンスの補正値を求める相互インダクタンス補正部3とを備えている。また、ベクトル制御部2は2次磁束指令発生部4と、q軸電流指令発生部5と、d軸電流指令発生部6と、すべり角周波数指令発生部7と、電圧フィードフォワード演算部8と、q軸電流制御器9と、積分器10と、dq軸・三相座標変換部11と、三相・dq軸座標変換部12とを備えている。

【0014】

ベクトル制御部2には、誘導電動機15の回路定数に基づいた設定値として、相互インダクタンスの初期設定値 $M0^*$ と、1次もれインダクタンス設定値 $l1^*$ と、2次もれイ



ンダクタンス設定値  $l_2^*$  と、1次抵抗設定値  $R_1^*$  と、2次抵抗設定値  $R_2^*$  が与えられる。

【0015】

また、ベクトル制御装置1の上位システムであるトルク指令発生部13より、トルク指令値  $T_m^*$  がベクトル制御部2および相互インダクタンス補正部3に入力される。

そして、ベクトル制御部2から出力された三相の出力電力指令  $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$  がPWMインバータ14に入力されて、PWMインバータ14からの出力が誘導電動機15に入力される。

【0016】

運転台に設置される、電車の加速、減速を設定する主幹制御器の設定値（図示せず）は、トルク指令発生部13へ入力され、発生したトルク指令値  $T_m^*$  がベクトル制御装置1に入力される。2次磁束指令発生部4では、トルク指令発生部13より入力されたトルク指令値  $T_m^*$  と、PWMインバータ14の出力角周波数  $\omega$ （後述する）と、直流電源18からPWMインバータ14に入力される電圧値とから演算された、誘導電動機15に与える2次磁束指令  $\Phi_2^*$  が出力される。d軸電流指令発生部6、q軸電流指令発生部5では、トルク指令値  $T_m^*$  と2次磁束指令  $\Phi_2^*$  から、次式（1）および（2）にてd軸（励磁分）電流指令  $I_{1d}^*$ 、q軸（トルク分）電流指令  $I_{1q}^*$  を演算する。

【0017】

$$I_{1d}^* = \Phi_2^* / M^* + L_2^* / (M^* \Phi_2^*) \times s \Phi_2^* \cdots (1)$$

$$I_{1q}^* = T_m^* / \Phi_2^* / P \times L_2^* / M^* \cdots (2)$$

ただし、式（1）および式（2）において、 $M^*$ （後述する）は相互インダクタンスの初期設定値  $M_0^*$  を補正して得られた補正值、 $L_2^* = M^* + l_2^*$ 、 $s$  は微分演算子、 $P$  は誘導電動機15の極対数を示す。

【0018】

すべり角周波数指令発生部7では、d軸電流指令  $I_{1d}^*$ 、q軸電流指令  $I_{1q}^*$  と誘導電動機15の回路定数から、次式（3）より、誘導電動機15に与えるすべり角周波数指令  $\omega_s^*$  を演算する。

【0019】

$$\omega_s^* = I_{1q}^* / I_{1d}^* \times R_2^* / L_2^* \cdots (3)$$

【0020】

この式（3）より算出したすべり角周波数指令  $\omega_s^*$  に、誘導電動機15の軸端に取り付けた、速度センサ16の出力である電動機回転角周波数  $\omega_r$  を加えたPWMインバータ14の出力角周波数  $\omega$ （ $\omega = \omega_r + \omega_s^*$ ）を積分器10で積分したものを座標変換の位相角  $\theta$  としてdq軸・三相座標変換部11および三相・dq軸座標変換部12に入力する。

【0021】

電圧フィードフォワード演算部8では、d軸電流指令  $I_{1d}^*$ 、q軸電流指令  $I_{1q}^*$  と誘導電動機15の回路定数から次式（4）および（5）にて誘導電動機15に与える電圧  $E_{1d}^*$ 、 $E_{1q}^*$  を演算する。

【0022】

$$E_{1d}^* = (s L_1^* \times \sigma + R_1^*) \times I_{1d}^* - \omega \times L_1^* \times \sigma \times I_{1q}^* + M^* / L_2^* \times s \Phi_2^* \cdots (4)$$

$$E_{1q}^* = (s L_1^* \times \sigma + R_1^*) \times I_{1q}^* + \omega \times L_1^* \times \sigma \times I_{1d}^* + \omega \times M^* / L_2^* \times \Phi_2^* \cdots (5)$$

ただし、式（4）および式（5）において、 $\sigma$  は  $\sigma = 1 - M^* / L_1^* / L_2^*$  で定義される漏れ係数である。また、 $L_1^* = M^* + l_1^*$  である。

【0023】

q軸電流制御器9では次式（6）のとおり、q軸電流指令  $I_{1q}^*$  とq軸電流検出値  $I_{1q}$  の偏差をとり、偏差を比例積分制御器にて増幅してq軸電流誤差  $\Delta I_{1q}$  として出力する。

【0024】

$$\Delta I_{1q} = (K_1 + K_2/s) \times (I_{1q}^* - I_{1q}) \cdots (6)$$

ただし、式(6)において、 $K_1$ は比例ゲイン、 $K_2$ は積分ゲインを示す。

【0025】

ここで、 $q$ 軸電流検出値 $I_{1q}$ は、PWMインバータ14の出力を、電流センサ17で検出した検出電流 $I_U$ 、 $I_V$ 、 $I_W$ を次式(7)で表現される座標変換部にて $dq$ 軸上電流に変換した値である。

【0026】

【数1】

$$\begin{pmatrix} I_{1q} \\ I_{1d} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) \\ \sin\theta & \sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & \sin\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_U \\ I_V \\ I_W \end{pmatrix} \cdots (7)$$

【0027】

次式(8)および(9)のとおり、 $d$ 軸については電圧フィードフォワード演算部8の出力を、 $q$ 軸については電圧フィードフォワード演算部8の出力に $q$ 軸電流誤差 $\Delta I_{1q}$ を加算した値を $dq$ 軸の出力電力指令 $V_d^*$ 、 $V_q^*$ として出力する。

【0028】

$$V_d^* = E_{1d}^* \cdots (8)$$

$$V_q^* = E_{1q}^* + \Delta I_{1q} \cdots (9)$$

【0029】

図3はこの発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置の相互インダクタンス補正部3の構成を示す図である。相互インダクタンスの初期設定値と実際値との誤差は、相互インダクタンスを含む式(1)から式(5)の誤差となり、発生トルクの誤差となって現れるため、トルク演算値 $T_{BT}$ とトルク指令値 $T_m^*$ との誤差を用いて、相互インダクタンスの補正をおこなう。

【0030】

相互インダクタンス補正部3には、誘導電動機15の回路定数に基づいた設定値として、相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ と、1次抵抗設定値 $R_1^*$ が与えられる。

また、相互インダクタンス補正部3には、ベクトル制御部2に設定された誘導電動機15の回路定数から求めた $dq$ 軸の出力電力指令 $V_q^*$ 、 $V_d^*$ と、同じくベクトル制御部2に設定された誘導電動機15の回路定数から求めたすべり角周波数指令 $\omega_s^*$ に、誘導電動機15から検出した電動機回転角周波数 $\omega_r$ を加えたPWMインバータ14の出力角周波数 $\omega$ と、誘導電動機15に備えられた電流センサ17で検出した検出電流 $I_U$ 、 $I_V$ 、 $I_W$ を変換して得られた $dq$ 軸上電流 $I_{1q}$ 、 $I_{1d}$ と、トルク指令発生部13よりベクトル制御部2に入力されるトルク指令値 $T_m^*$ とが入力される。

【0031】

相互インダクタンス補正部3では、次式(10)にてトルク演算値 $T_{BT}$ を演算する。トルク演算値 $T_{BT}$ の算出について、式(10)は相互インダクタンスを式の中に含まないよう変形されており、相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ 、実際値 $M$ に差異があった場合でも、それに影響を受けることなく式(10)でトルク演算値 $T_{BT}$ を計算できる。

【0032】

$$T_{BT} = (V_q^* - I_{1q} \times R_1^*) / \omega \times I_{1q} + (V_d^* - I_{1d} \times R_1^*) / \omega \times I_{1d} \cdots (10)$$

【0033】

ここで、トルク演算値 $T_{BT}$ とトルク指令値 $T_m^*$ の誤差を比例積分制御器(PI)19に通し、次式(11)により演算する。続いて、演算結果を $\Delta T_m$ を相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ と足し合わせることで、相互インダクタンスの補正值 $M^*$ が得



られ、補正值 $M^*$ はベクトル制御部2に入力される。

【0034】

$$\Delta T_m = (K_3 + K_4 / s) \times (T_{BT} - T_m^*) \cdots (11)$$

ただし、式(11)において、 $K_3$ は比例ゲイン、 $K_4$ は積分ゲインを示す。

【0035】

相互インダクタンスの補正值 $M^*$ の補正則は、トルク演算値 $T_{BT} > \text{トルク指令値 } T_m^*$ のとき、相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ より大きくなるように補正して補正值 $M^*$ を得て、逆にトルク演算値 $T_{BT} < \text{トルク指令値 } T_m^*$ のとき、相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ より小さくなるように補正して補正值 $M^*$ を得るものである。

【0036】

なお、トルク演算値 $T_{BT}$ は、トルクの微少な変動や外乱を演算結果に含まないように、フィルタ20で平均化処理したものを使用する。

【0037】

また、式(4)および式(5)に示されるように、誘導電動機15の回転速度が低速の場合には、 $\omega$ が含まれる項が小さくなるので、相対的に $(sL_1^* \times \sigma + R_1^*)$ の項が大きくなる。ここで、誘導電動機15の一次抵抗は、上述の二次抵抗と同様に運転状態に伴う温度変化によって変化する。このため、式(4)および式(5)で計算した $E_{ld}$ と $E_{lq}$ を用いて式(10)で演算するトルク演算値 $T_{BT}$ において、一次抵抗設定値 $R_1^*$ と実際値の間の誤差により、式(10)では正確なトルクが計算できなくなる。このことは、特に誘導電動機15の回転速度が低い場合に顕著になる。

【0038】

このため、誘導電動機15の回転速度がある程度の速度に上昇し、一次抵抗設定値 $R_1^*$ と実際値の誤差が無視できる領域にてこの発明の相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ を補正して、補正值 $M^*$ を求めるのが好ましい。

【0039】

図4は、この発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置において、トルク指令値 $T_m^*$ に対する発生トルク $T_m$ の応答シミュレーションを行った波形例である。ここで、発生トルク $T_m$ は、誘導電動機の回路定数、端子電圧、電流を使用して演算したもので、シミュレーションモデル中の誘導電動機が発生しているトルクのことである。

相互インダクタンスの初期設定値 $M_0^*$ は、実際値 $M$ の0.5倍としている。時間1.5sにおいて、トルク指令値 $T_m^*$ は0[N・m]から1000[N・m]へステップ変化させている。

これは、誘導電動機15のトルクを、ゼロの状態から定格の100%までステップ状に立ち上げることに相当する。

図4(a)がこの発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置1を用いた場合の応答波形である。図4(b)が従来方式の応答波形である。時間4s~5s付近の定常状態におけるトルク指令値 $T_m^*$ の誤差は、この発明の実施の形態1によれば、図4(a)のように小さくなっている。

【0040】

このように、この発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置1においては、トルク指令値 $T_m^*$ と発生トルク $T_m$ との誤差に基づいて補正值 $M^*$ を生成することにより、トルク指令値と実際の誘導電動機15の発生トルクを一致させることができ、精度の良い制御をすることができる。

【0041】

上記説明では、この発明の用途として電鉄車両のベクトル制御装置の場合を例に説明したが、その他の産業応用用途のベクトル制御装置にも利用できる。また、図1では制御電圧源形ベクトル制御装置の形態としているが、制御電流源形のベクトル制御装置でも同様に適用できる。図1では速度センサ16を用いて誘導電動機15の速度を検出しているが、速度を演算推定するなどして検出する速度センサレスベクトル制御装置にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】この発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置の一例を周辺機器構成とともに示すブロック図である。

【図2】この発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置が制御する、誘導電動機の等価回路を示す回路図である。

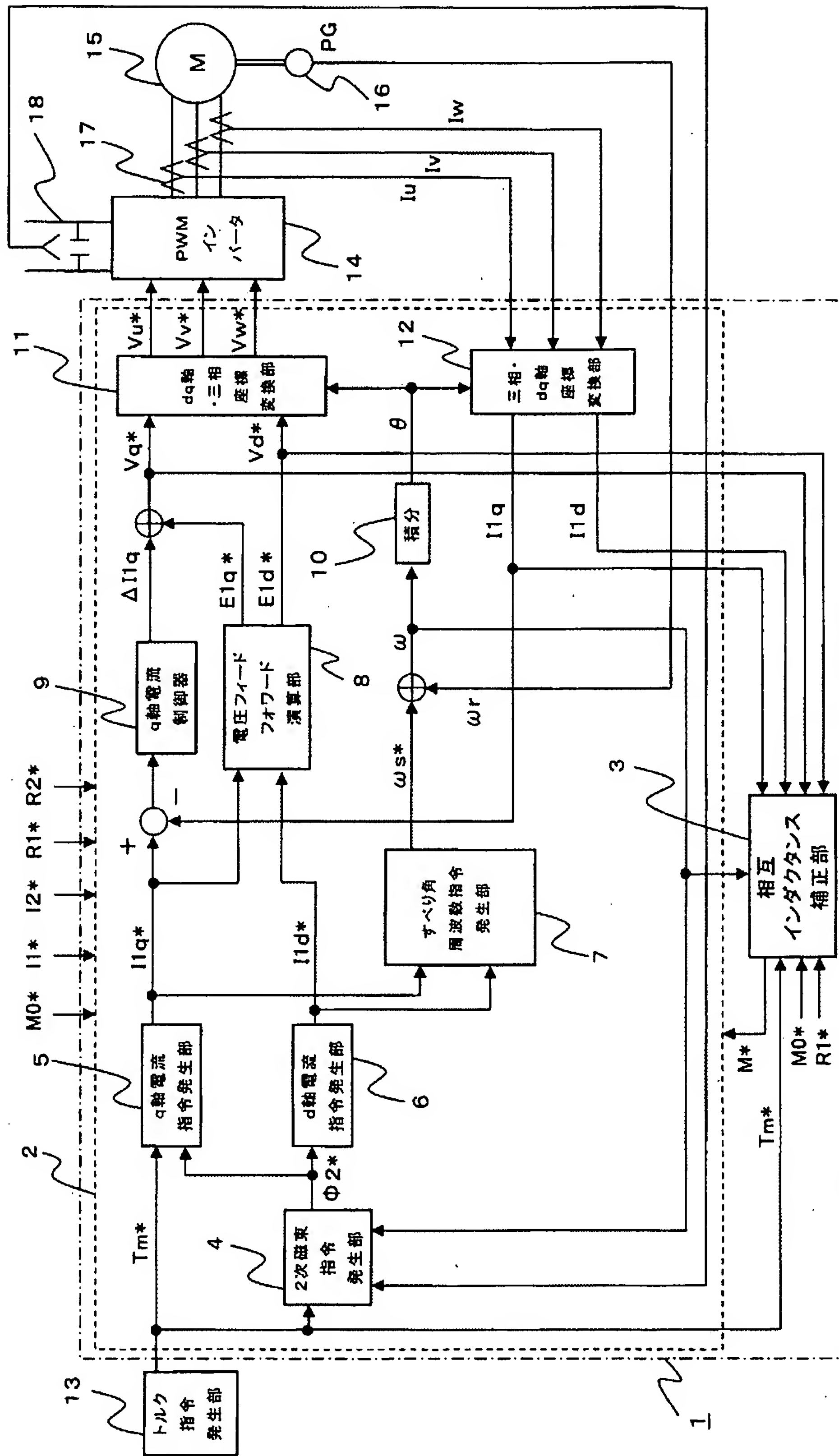
【図3】この発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置の相互インダクタンス補正部の構成を示す図である。

【図4】この発明の実施の形態1に係るベクトル制御装置において、トルク指令値 $T_m^*$ に対する発生トルク $T_m$ の応答シミュレーションを行った波形例である。

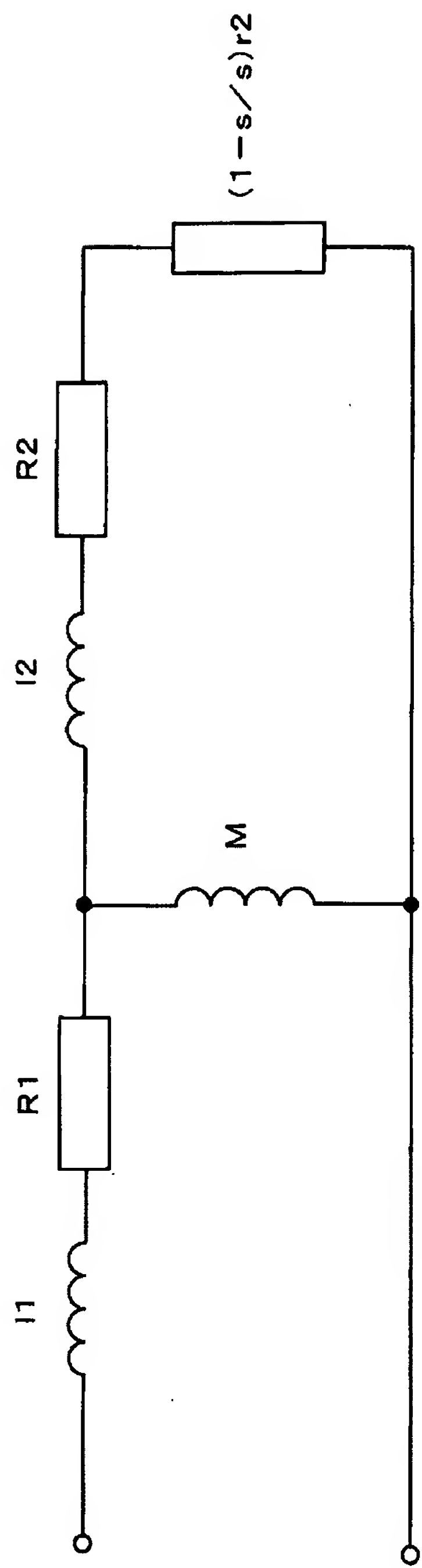
【符号の説明】

【0043】

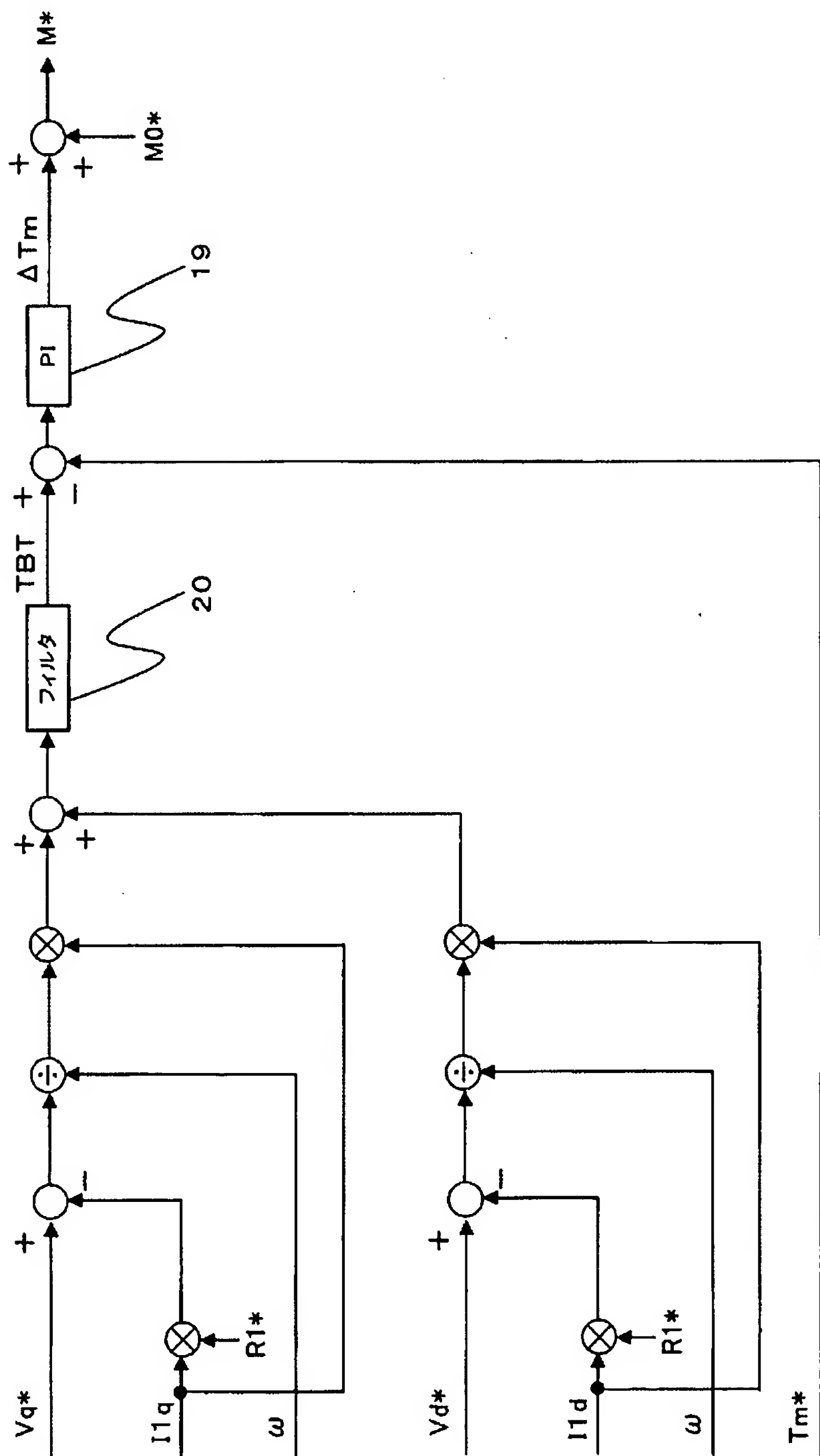
1 誘導電動機のベクトル制御装置、2 ベクトル制御部、3 相互インダクタンス補正部、13 トルク指令発生部、15 誘導電動機、 $M_0^*$  (相互インダクタンスの) 初期設定値、 $M$  (相互インダクタンスの) 実際値、 $M^*$  (相互インダクタンスの) 補正值、 $L_1^*$  1次もれインダクタンス設定値、 $L_2^*$  2次もれインダクタンス設定値、 $R_1^*$  1次抵抗設定値、 $R_2$  2次抵抗設定値、 $V_q^*$ 、 $V_d^*$  (dq軸の) 出力電力指令、 $\omega_s^*$  すべり角周波数指令、 $\omega_r$  電動機回転角周波数、 $\omega$  出力角周波数、 $I_{1q}$ 、 $I_{1d}$  dq軸上電流、 $T_m^*$  トルク指令値。



【图 2】

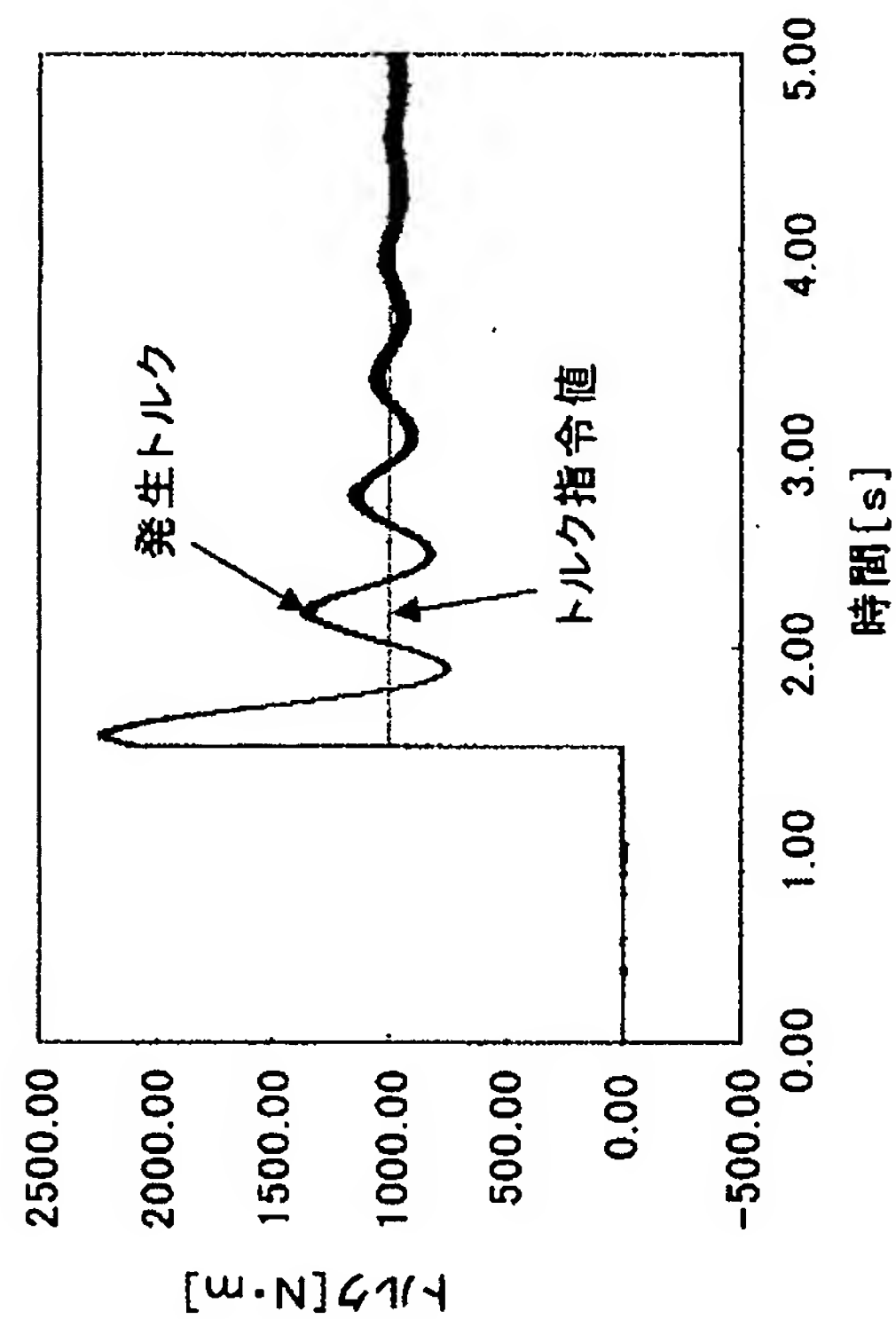


【図 3】

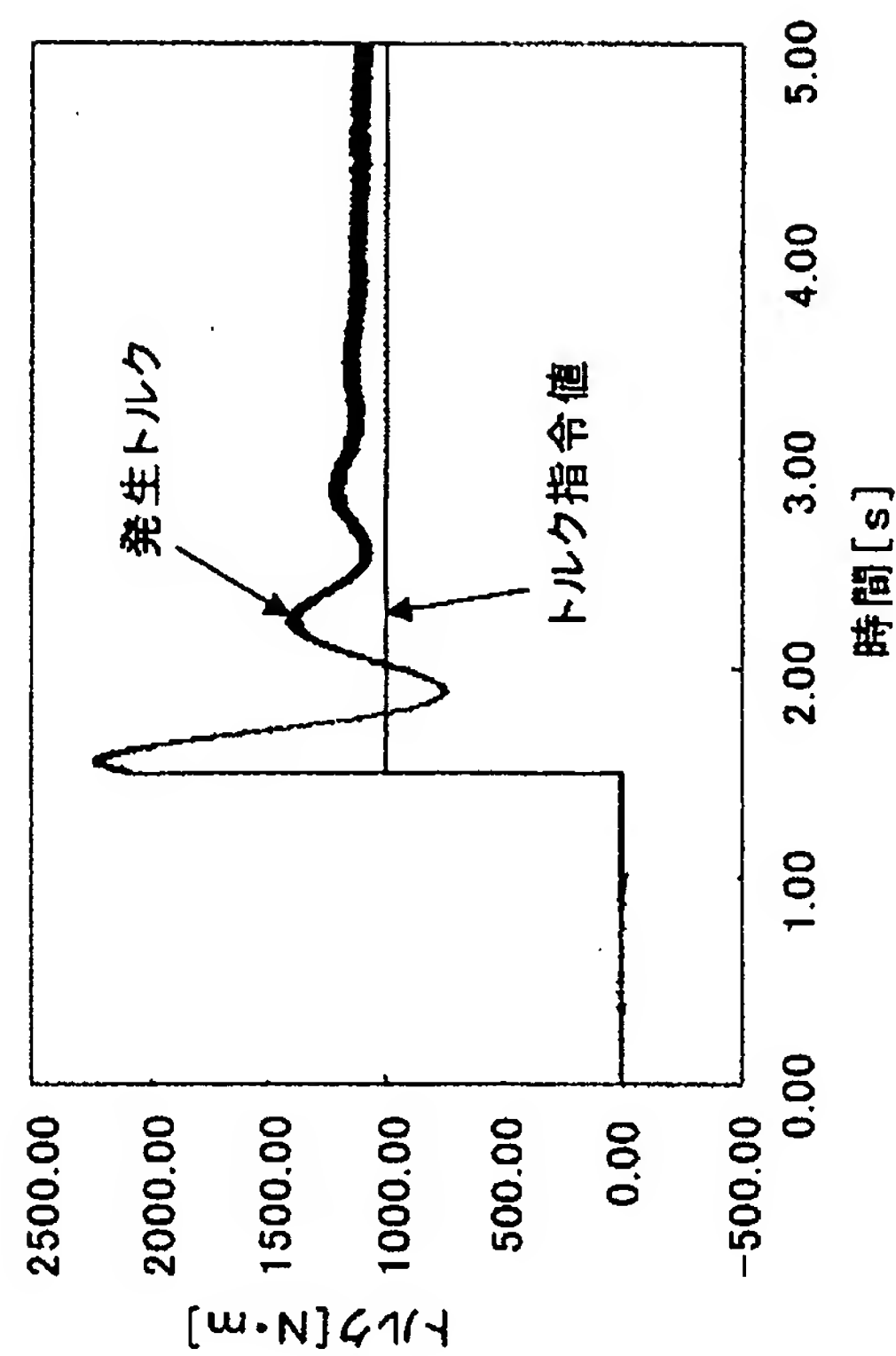




【図 4】



( a )



( b )